



ZHIYE JISHU XUEXIAO JIXIELEI ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI
职业技术学校机械类专业规划教材

焊工工艺 与技能训练

HANGONG GONGYI YU JINENG XUNLIAN

何正琛 主编



电子科技大学出版社



ZHIYE JISHU XUEXIAO JIXIELEI ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI
职业技术学校机械类专业规划教材

焊工工艺 与技能训练

HANGONG GONGYI YU JINENG XUNLIAN

何正琛 主编



电子科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

焊工工艺与技能训练 / 何正琛主编. — 成都: 电子科技大学出版社, 2007.7

ISBN 978-7-81114-586-1

I. 焊… II. 何… III. 焊工工艺—专业学校—教材
IV. TG44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 113727 号

内 容 提 要

本书根据国家职业技能鉴定标准, 结合职业教育的实际情况并按照《焊工工艺与技能训练教学大纲》(2000) 编写, 供全国高中等职业技术学校机械类专业使用。

本书遵循实用、实效的原则, 采用模块式、项目化的教学方法, 突出技能训练, 使学生在技能训练中掌握并达到本专业(工种)知识和技能要求。

本书共分 9 个模块, 详尽地介绍了焊工所涉及的理论基础知识和技能操作方法, 其主要内容包括: 电弧焊基础、手工电弧焊操作训练、二氧化碳气体保护焊、埋弧自动焊、氩弧焊、等离子弧焊接与切割、电渣焊、气焊与气割及常用金属材料的焊接等。

本书可作为高中等技术职业学校焊工专业技术培养的教材, 同时也可作为在职技术人员和工程技术人员的专业培训教材。

职业技术学校机械类专业规划教材
焊工工艺与技能训练

何正琛 主编

出 版: 电子科技大学出版社 (成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051)

责任编辑: 谢应成

主 页: www.uestcp.com.cn

电子邮件: uestcp@uestcp.com.cn

发 行: 新华书店经销

印 刷: 四川南方印务有限公司

成品尺寸: 185mm×260mm 印张 13.5 字数 328 千字

版 次: 2007 年 7 月第一版

印 次: 2007 年 7 月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-81114-586-1

定 价: 19.00 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

- ◆ 邮购本书请与本社发行部联系。电话: (028) 83202323, 83256027
- ◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。
- ◆ 课件下载在我社主页“下载专区”。

前 言

本书是根据国家职业技能鉴定标准和加工生产一线岗位职责要求,结合职业教育的实际情况编写的,供中等职业技术学校机械类专业使用,也可作为职业培训教材。

本书遵循实用、实际、实践、实效的原则,采用模块式、项目化的教学方法,突出技能训练,将专业理论融入相关训练项目,使学生在技能训练过程中能够反复学习、理解、熟悉基本理论,变枯燥学习为实际运用,变被动接受知识为主动求知,最终达到掌握本专业(工种)知识和技能要求的目的。

全书共分为九个模块,主要包括:电弧焊基础、手工电弧焊操作训练、二氧化碳气体保护焊、埋弧自动焊、氩弧焊、等离子弧焊接与切割、电渣焊、气焊与气割及常用金属材料的焊接等。各个模块内容相对独立,可根据实际需要及现有条件灵活组织安排。

本书模块一、模块三、模块四、模块九由成都航空职业技术学院何正琛编写,模块二由周臻编写,模块五、模块七由卢炜编写,模块六、模块八由成都发动机集团公司苏云编写,全书由何正琛主编。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免有疏漏不当之处,请读者批评指正。

在编写过程中,还得到王飞的帮助,谨此致谢。

编 者

2007年5月25日

目 录

概 述.....	1
习 题.....	3

模块一 电弧焊.....4

项目一 焊接电弧.....	4
一、焊接电弧的物理本质.....	4
二、焊接电弧的构造、分类及静特性.....	6

习 题.....	8
----------	---

项目二 弧焊电源.....9

一、弧焊电源的静特性.....	9
二、对弧焊电源的基本要求.....	9

习 题.....	12
----------	----

项目三 常见弧焊电源.....12

一、弧焊电源的型号及主要技术特性.....	12
-----------------------	----

二、常见弧焊电源.....	12
---------------	----

习 题.....	19
----------	----

项目四 焊接冶金.....19

一、焊接冶金过程的特点.....	19
------------------	----

二、焊接冶金过程微粒对接头的影 响.....	20
---------------------------	----

三、焊接冶金过程.....	21
---------------	----

习 题.....	25
----------	----

项目五 熔池的结晶.....25

一、电弧焊的熔滴过渡.....	25
-----------------	----

二、焊缝结晶过程.....	27
---------------	----

三、焊接热影响区.....	29
---------------	----

四、焊缝标注方法.....	31
---------------	----

习 题.....	41
----------	----

项目六 焊条.....41

一、焊条的组成及作用.....	41
-----------------	----

二、焊条药皮的类型及焊条的分 类.....	43
--------------------------	----

习 题.....	47
----------	----

项目七 焊剂和焊丝.....48

一、焊剂.....	48
-----------	----

二、焊丝.....	51
-----------	----

习 题.....	52
----------	----

项目八 焊接工艺参数.....52

一、焊条的选择.....	52
--------------	----

二、焊接电流的选择.....	53
----------------	----

三、焊接电压的选择.....	54
----------------	----

四、焊接速度的选择.....	54
----------------	----

五、焊接层数的选择.....	54
----------------	----

习 题.....	54
----------	----

项目九 焊接应力变形(一).....55

一、焊接应力与变形.....	55
----------------	----

二、焊接残余变形.....	58
---------------	----

习 题.....	61
----------	----

项目十 焊接应力变形(二).....62

一、防止和减小焊接残余变形的 措施.....	62
---------------------------	----

二、焊接残余变形的矫正方法.....	66
--------------------	----

三、控制焊接残余应力的措施.....	68
--------------------	----

四、消除焊接残余应力的方法.....	70
--------------------	----

习 题.....	71
----------	----

项目十一 焊接检验.....71

一、焊接检验过程.....	71
---------------	----

二、焊接检验方法.....	72
---------------	----

习 题.....	77
----------	----

模块二 手工电弧焊操作训练...78

项目一 平敷焊技能训练.....78

一、焊前准备.....	78
-------------	----

二、操作过程及要领.....	79
----------------	----

习 题.....	82
----------	----

项目二 平对接焊技能训练.....82

一、焊接电源极性和电弧偏吹	82
二、焊前准备	83
三、操作要领及操作训练	84
习 题	85
项目三 立对接焊技能训练	85
一、焊前准备	85
二、操作要领及操作训练	86
三、注意事项	88
习 题	88
项目四 横对接焊技能训练	88
一、焊前准备	88
二、操作要领及操作训练	89
三、注意事项	90
习 题	91
项目五 平角焊技能训练	91
一、角焊的特点	91
二、操作要领及操作训练	92
三、注意事项	94
习 题	94
项目六 立角焊技能训练	94
一、焊前准备	94
二、操作要领及操作训练	95
三、注意事项	96
习 题	96
项目七 仰焊技能训练	96
一、角焊的特点	96
二、操作要领	97
三、注意事项	99
习 题	99
项目八 固定管焊技能训练	100
一、角焊的特点	100
二、操作要领	100
习 题	103

模块三 二氧化碳气体保护焊	104
----------------------	------------

一、CO ₂ 气体保护焊的特点	105
二、CO ₂ 气体保护焊的冶金特性	105
三、CO ₂ 气体保护焊的熔滴过渡	106
四、焊接材料	107
五、二氧化碳气体保护焊的设备	108
六、CO ₂ 焊的焊接工艺参数	110
七、二氧化碳气体保护的基本操作	111
八、CO ₂ 半自动焊机常见故障及排除方法	115
习 题	116

模块四 埋弧自动焊 117

一、埋弧自动焊的主要特点	118
二、埋弧自动焊的冶金特点	118
三、电弧长度自动调节	119
四、埋弧自动焊的焊接工艺	123
五、埋弧自动焊的基本操作	125
六、常见焊接缺陷产生的原因与处理措施	128
习 题	129

模块五 氩弧焊 130

一、氩弧焊概述	130
二、焊接材料	132
三、钨极氩弧焊的电弧特性	133
四、钨极氩弧焊设备	134
五、钨极氩弧焊的焊接工艺	135
六、钨极氩弧焊的基本操作	137
习 题	139

模块六 等离子弧焊接与切割

.....	140
一、等离子弧的形成及类型	140
二、等离子弧焊接	142
三、等离子弧切割	144
四、等离子弧焊接的基本操作	145
五、常见缺陷及产生原因	146
习 题	147

模块七 电渣焊 **148**

一、电渣焊的基本原理	148
二、冶金过程及结晶特点	149
三、电渣焊的特点	149
四、电渣焊的类型	150
五、焊接过程	151
六、焊接材料	152
七、电渣焊的焊接工艺参数	152
习 题	153

模块八 气焊与气割 **154****项目一 气焊与气割的用材** **154**

一、乙炔	154
二、液化石油气	155
三、氧气	156
四、焊丝	156
五、气焊熔剂	156

项目二 气焊设备及工具的使用**方法** **157**

一、氧气瓶	157
二、乙炔发生器	158
三、乙炔瓶	159
四、减压器	159
五、回火保险器	160
六、焊炬	161

项目三 气焊工艺及操作 **161****一、氧—乙炔火焰的性质及适用**

范围	161
----------	-----

二、火焰的性质及能率 **163****三、焊丝的牌号及直径** **163****四、焊炬的倾斜角** **163****五、焊接方向** **164****六、气焊火焰的点燃、调节和**

熄灭	164
----------	-----

项目四 气割 **165****一、气割原理** **165****二、气割工艺参数** **166****三、气割设备及工具** **167****习 题** **169****模块九 常用金属材料的焊接****..... 170****项目一 材料焊接性基础知识** **170****一、钢的焊接性** **170****二、预热、后热及焊后热处理** **172****三、裂纹** **173****四、气孔** **176****习 题** **177****项目二 碳钢的焊接** **178****一、碳钢的分类** **178****二、低碳钢的焊接** **178****三、中碳钢的焊接** **179****四、高碳钢的焊接** **180****习 题** **180****项目三 热轧、正火钢的焊接** **181****一、热轧、正火钢简介** **181****二、热轧、正火钢的焊接性** **181****三、热轧、正火钢的焊接工艺** **182****四、几种常用热轧、正火钢的**

焊接工艺	183
------------	-----

习 题 **184****项目四 低碳调质钢的焊接** **184**

一、低碳调质钢性能.....	184
二、低碳调质钢性能.....	184
三、低碳调质钢焊接.....	185
习 题	186
项目五 中碳调质钢的焊接.....	187
一、中碳调质钢的性能	187
二、中碳调质钢的焊接性	187
三、中碳调质钢的焊接工艺.....	188
习 题	190
项目六 不锈钢的焊接.....	190
一、不锈钢简介	190
二、奥氏体不锈钢的焊接	190
三、马氏体不锈钢的焊接	193
四、铁素体不锈钢的焊接	193
习 题	194
项目七 铸铁的焊接	195
一、铸铁简介.....	195
二、灰口铸铁的焊接性	195
三、球墨铸铁的焊接.....	196

习 题.....	197
项目八 铝及铝合金的焊接.....	197
一、铝及铝合金特性及分类	197
二、铝及铝合金的焊接性.....	197
三、铝及铝合金的焊接	198
习 题.....	200
项目九 铜及合金的焊接	200
一、铜及铜合金简介.....	200
二、铜及铜合金的焊接性.....	201
三、焊接方法的选择	202
四、紫铜的焊接	203
五、黄铜的焊接	204
六、青铜的焊接	205
七、注意事项.....	206
习 题.....	206

概 述

在日常生活中，经常需要将两个或两个以上的物体或零件连接在一起。连接方式有两种：一种是可以拆卸连接，如螺栓连接、键连接等；另一种是永久性连接，不能拆卸，如铆接、焊接等，如图 1 所示。焊接比铆接具有显著的优越性，它有节省材料、减轻结构质量、简化加工与装配工序、接头的致密性好、能承受高压、容易实现机械化和自动化生产、提高生产率和质量等系列特点。

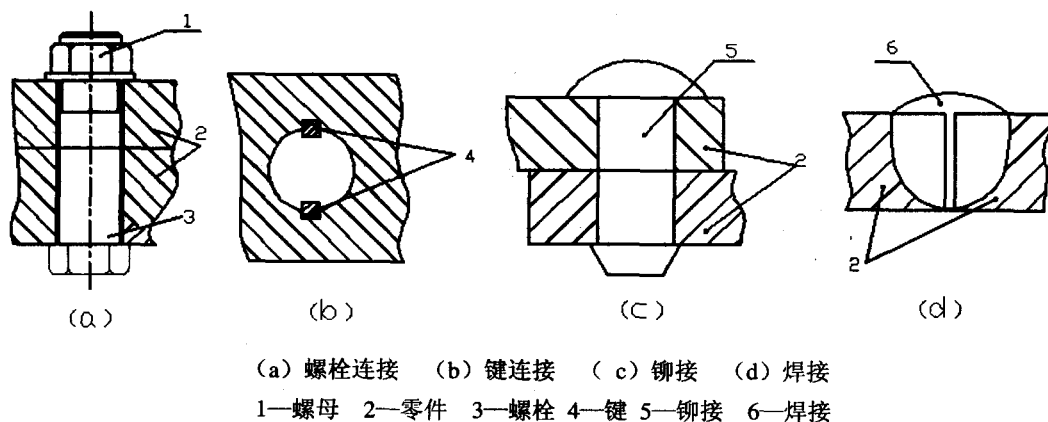


图 1 零件连接方式

我国是世界上最早应用焊接技术的国家之一。远在战国时期，铜器的主体、耳、足就是利用钎焊来连接的。近代焊接技术是在电能成功地应用于工业生产之后出现的，从 1882 年发明电弧焊到现在已有一百余年的历史。在电弧焊的初期，不成熟的焊接工艺使焊接在生产中的应用受到限制，直到 20 世纪 40 年代才形成较为完整的焊接工艺体系，埋弧焊和电阻焊得到成功的应用。20 世纪 50 年代的电渣焊、各种气体保护焊、超声波焊，60 年代的等离子弧焊、电子束焊、激光等先进焊接方法的不断涌现，使焊接技术达到一个新的水平。近年来对能量束焊接、太阳能焊接、冷压焊接等新的焊接方法也开始研究，尤其是在焊接工艺自动控制方面有了很大的发展。采用电子计算机控制和工业电视监视焊接过程，使焊接过程便于遥控，有助于实现焊接自动化。工业机器人的问世，使焊接工艺自动化进入一个崭新的阶段。

我国大致在 20 世纪 20 年代，开始了电弧焊的应用。那时，只有极为少量的手弧焊和气焊，且多用于修补工作。随着国民经济的迅速发展，焊接技术的应用已遍及航空、航天、桥梁、造船、汽车、海洋工程、石油化工、核动力工程、微电子技术、电力等工业部门。我们成功地焊接了 12 000t 水压机、22.5 万 kW 水轮机、150 大气压的加氢反应器、直径 15.7m 的环型容器、25 000t 远洋货轮，以及原子反应堆、火箭、人造卫星等。各种新工艺如多丝埋弧焊、窄间隙气体保护全位置焊、水下 CO₂ 半自动焊、全位置脉冲等离子弧焊、

异种金属的摩擦焊和数字程序控制气割等已在许多工厂中应用。大量的焊接生产自动线广泛在汽车、船舶、化工设备等工业中得到应用。随着科技的发展，众多的先进的焊接设备相继研制成功，如 20 000W/s 储能点焊机、汽车制造用的各种专用点焊机、窄间隙全位置等离子弧焊机、微束等离子弧焊机、15kV200mA 真空电子束焊机、120W/s 激光机等。在焊接理论研究方面，建立了焊接研究所、焊接设备研究所，在许多高、中等职业院校设置了焊接专业，为发展焊接科学技术和培养焊接技术人才创造了良好的氛围。

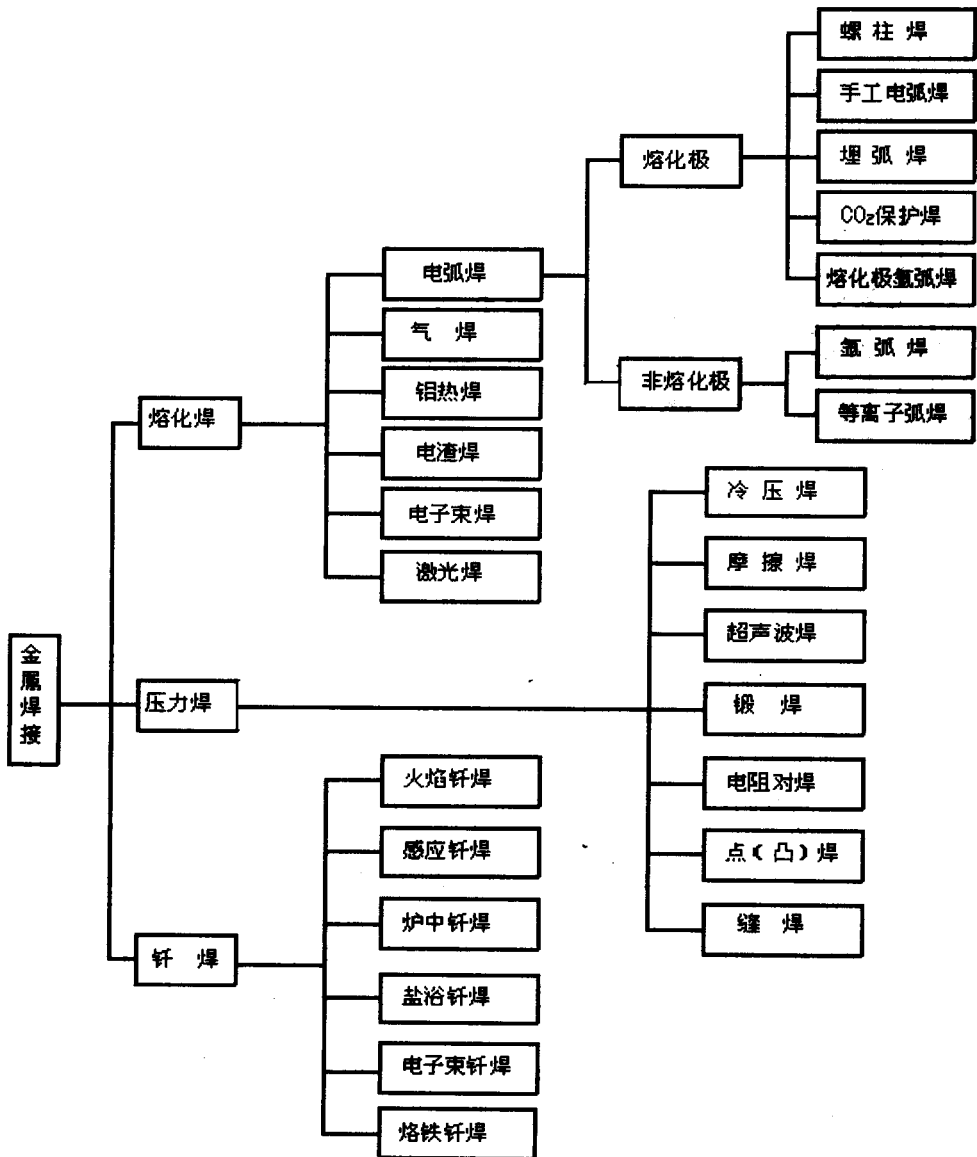


图2 焊接方法的分类

焊接就是两种或两种以上的材质（同种或异种）通过加热或加压或两者并用，用或不用填充材料，使焊件达到原子之间的结合而形成永久性连接的一种加工工艺方法。由此可知，焊接与其他连接方式不同，不仅在宏观上建立了永久性的接头，而且在微观上也建立了组织之间的内在联系。

焊接时，被连接的两个物体（构件、零件）不仅可以是各种同类或不同类的金属、非金属（石墨、玻璃、陶瓷、塑料等）材料，也可以是某种金属材料与某种非金属材料。金属焊接在现代工业中具有重要的实际意义，因此，狭义地讲，焊接就是指金属的焊接。焊接方法的分类如图 2 所示。

焊接方法种类繁多，而且随着科学技术的发展，新的焊接方法仍在不断涌现，通常根据焊接工艺中某几个特征，可以把焊接方法分为熔化焊、压力焊和钎焊三类。熔化焊是以焊接过程中是否熔化和结晶为准则，压力焊是以焊接过程中是否固相结合、是否加压为准则，钎焊则以钎料为准则。

熔化焊是在焊接过程中，将焊件接头加热至熔化状态，然后冷却结晶成一体的焊接方法。当被焊金属加热至熔化状态形成液态熔池，并同时向熔池中加入（或不加入）填充金属时，金属原子之间便相互扩散了紧密接触，直至冷却凝固，即形成牢固的焊接接头。常见的手工电弧焊、气焊、埋弧焊、氩弧焊等都属于熔化焊。

压力焊利用摩擦、扩散和加压等物理作用克服两个连接表面的不平度，除去（挤走）氧化膜及其他污染物，使两个连接表面上的原子相互接近到晶格距离，从而在固态条件下实现连接。这类焊接方法的特点是在实现焊接的过程中都需加压。通常，为了使压力焊接容易实现，大都在加压的同时伴随加热措施，但加热的温度通常都远远低于焊件的熔点。常见的压力焊有冷压焊、摩擦焊、超声波焊、锻焊、电阻对焊、闪光对焊、点焊、缝焊等。

钎焊是采用比母材熔点低的材料，将焊件和钎料加热到高于钎料且低于母材熔点的温度，利用毛细作用使液态钎料润湿母材，填充接头间隙并与母材相互扩散，冷却结晶形成牢固的焊接接头。常见的有烙铁钎焊、火焰钎焊、炉中钎焊、盐浴钎焊、感应钎焊、电子束钎焊等。

本书只讲解熔化焊方面的知识。

习 题

1. 零件常用的连接方式有哪几种？
2. 名词解释：焊接、熔化焊、压焊、钎焊。
3. 焊接与铆接相比具有哪些优点？

模块一 电 弧 焊

本章要求:

1. 掌握电弧焊的基本知识: 焊接电弧、弧焊电源、焊接冶金、焊接残余应力与变形等;
2. 掌握焊缝的标注方法;
3. 掌握焊接工艺的确定方法;
4. 掌握焊接材料(焊条、焊丝、焊剂)的基本知识;
5. 掌握焊接检验的常用方法。

本章难点:

1. 弧焊电源的合理选用;
2. 残余应力和变形的预防措施。

项目一 焊 接 电 弧

一、焊接电弧的物理本质

电弧是电弧焊接的热源。而电弧电源则是电弧能量的供应者。弧焊电源特性的好坏将影响电弧燃烧的稳定性,而电弧是否稳定燃烧又直接影响焊接过程的稳定性和焊缝的质量。焊接时,焊条端部和焊件之间会产生明亮的电弧如图 1-1(a)所示。电弧是一种气体放电现象。由焊接电源供给一定电压,使两电极间或电极与焊件间的气体介质中产生强烈而持久的放电现象,称为焊接电弧。

一般情况下,中性气体的分子和原子不能导电,电流通不过,电弧不能自发地产生。要使气体呈现导电性必须使气体电离。气体电离后,原来气体中的一些中性分子或原子转变为电子、正离子等带电质点,这样电流才能通过气体间隙形成电弧,如图 1-1(b)所示。可见,气体的电离和电子发射是电弧中最基本的物理现象。

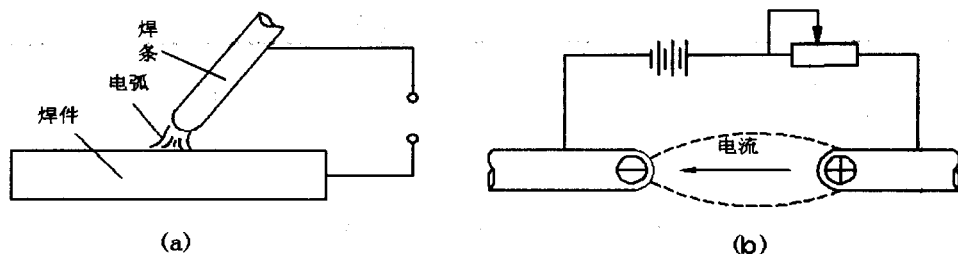


图 1-1 电弧示意图

1. 气体原子的激发与电离

气体原子和自然界的一切物质原子一样，其中电子是按一定的轨道环绕原子核运动。在常态下原子是呈中性的。如果气体原子得到外加的能量，电子就可以从一个较低能级跳跃到另一个较高能级，这个过程叫原子的激发。使原子跃至激发状态所需的能量，称为激发能。但在一定的条件下，气体原子中的电子从外面获得足够的能量，就能脱离原子核的引力成为自由电子，同时原子由于失去电子而成为正离子。这种使电子完全脱离原子核的约束，形成正离子和自由电子的过程称为气体电离。

使气体电离所需要的能量称为电离能。不同的气体或元素，由于原子结构不同，其电离电位也不同，常见元素的电离电位如表 1-1 所示。

表 1-1 常见元素的电离电位

元素	钾	钠	钡	钙	钛	锰	铁	氢	氧	氮	氫	氟	氯
电离 电位(eV)	4.34	5.14	5.21	6.10	6.80	7.40	7.83	13.6	13.6	14.53	15.76	16.9	24.58

注：电子伏特 (eV) 是原子物理学中常用的能量单位。1eV 就是一个电子在通过电势差为 1V 的一段路程上所需或得到的能量。

在焊接电弧中，使气体介质电离的方式主要有热电离、撞击电离、光电离。

(1) 热电离：在高温下，气体原子（或分子）受热的作用而产生的电离称为热电离。温度越高，热电离作用越大。

(2) 撞击电离：带电质子（电子、离子）在电场的作用下，各做定向高速运动，产生较大的动能，并不断与中性粒子相碰撞后产生电离。两电极间的电压越高，电场作用越大，则电离作用越强烈。

(3) 光电离：中性粒子在光辐射的作用下，吸收了光射线的光子能产生的电离，称为光电离。

2. 电子发射

阴极的金属表面原子或分子接受外界的能量而释放出自由电子的现象，称为阴极电子发射。在焊接时，阴极电子发射和气体电离一样是电弧产生和维持稳定燃烧的重要条件。

一般情况下，电子不能自由离开金属表面产生电子发射，要使电子发射，必须施加一定的能量，足以克服金属内部正电荷对它的静电引力。所加的能量越大，阴极产生电子发射作用就越强烈。电子发射所需要的最低外加能量称为逸出功，单位是电子伏特 (eV)。电子逸出功的大小不仅与元素种类有关，而且与物质表面状态有关。表面有氧化物或其他杂质均可显著减小逸出功。表 1-2 列出了常见元素的电子逸出功。

表 1-2 常见元素的电子逸出功

元 素 名 称	电子逸出功 (eV)	元 素 名 称	电子逸出功 (eV)
钠	2.33	钛	3.95
钡	2.40	锰	3.76
钙	2.96	钾	2.22
铁	4.18	碳	4.45
铝	4.25	钨	4.50
钼	4.29	铬	4.59

注：表中的值因参考资料不同，有些差异，仅供参考。

焊接时，根据阴极吸收能量的方式不同，所产生的电子发射有以下几类：热发射、电场发射、撞击发射和光电发射等。

(1) 热发射：焊接时，阴极表面的温度很高，使阴极内部的电子热运动速度增加，当某些电子的动能大于其逸出功时，电子逸出到阴极表面外的空间中的现象叫热发射。

(2) 电场发射：当阴极表面外部空间处于强电场作用下，某些电子可获得足够的能量克服正电荷对它的静电引力，从阴极表面发射出来的现象，叫做电场发射。两极间电压越高，则电场发射作用越大。

(3) 撞击发射：高速运动的正离子撞击阴极表面时，引起电子发射的现象，称为撞击发射。粒子的能量愈大，电子发射也越强烈。

(4) 光电发射：物质表面接受光射线的能量而释放自由电子的现象，称为光电发射。对于各种金属和氧化物，只有当光射线波长小于能使它们发射电子的极限波长时，才能产生光电发射。

综上所述，焊接电弧是气体放电的一种形式。焊接电弧的形成和维持是在电场、热、光和质子动能的作用下，气体原子不断地被激发、电离以及电子发射的结果。

二、焊接电弧的构造、分类及静特性

1. 焊接电弧的构造

焊接电弧的构造沿着长度方向可分为三个区域：阴极区、阳极区、弧柱区，如图 1-2 所示。

(1) 阴极区：电弧与电源负极相接的那端为阴极区。为保证电弧稳定燃烧，阴极区的任务是向弧柱区提供电子流和接受弧柱区送来的正离子流。在焊接时，阴极表面存在一个烁亮的辉点，称为阴极斑点。阴极斑点是电子发射源。

(2) 阳极区：电弧与电源正极相接的那端为阳极区。阳极区的任务是接受弧柱区流过来的电子流和向弧柱区提供正离子流。在阳极表面上的光亮辉点称为阳极斑点。阳极斑点是由于电子对阳极表面撞击而形成的。

(3) 弧柱区：弧柱是处于阴极区与阳极区之间的区域。弧柱区起着电子流和正离子流的导电通路的作用，弧柱的温度不受材料沸点限制，而取决于弧柱中气体介质和焊接电流。焊接电流越大，弧柱中电离程度就越大，弧柱温度也就越高。弧柱区的中心温度可

达 $5\,000^{\circ}\text{C}\sim 50\,000^{\circ}\text{C}$ 。

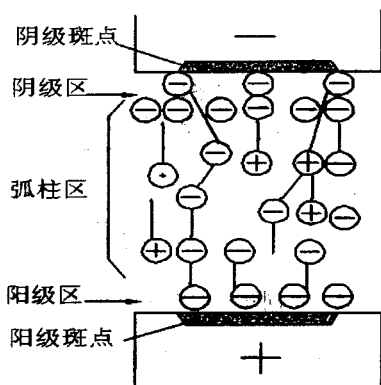


图 1-2 焊接电弧的构造

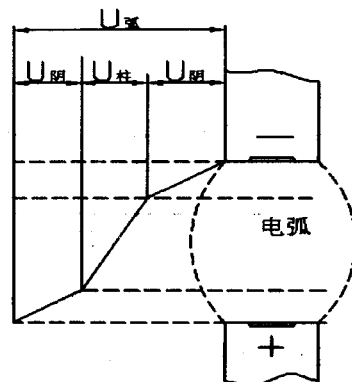


图 1-3 电弧各区域的电压分布示意图

(4) 电弧电压：通常测出的电弧电压就是阴极区、阳极区和弧柱区电压降之和。当弧长一定时，电弧电压的分布如图 1-3 所示。电弧电压可用下式表示：

$$U_{\text{弧}} = U_{\text{阴}} + U_{\text{阳}} + U_{\text{柱}}$$

$U_{\text{弧}}$ ——电弧电压，V； $U_{\text{阴}}$ ——阴极电压降，V；

$U_{\text{阳}}$ ——阳极电压降，V；

$U_{\text{柱}}$ ——弧柱电压降，V。

其中 $U_{\text{柱}} = IEL$

I ——电弧电流； E ——弧柱电场强度； L ——弧柱长度

一般情况下，阴极电压降、阳极电压降基本是固定不变的，弧柱电压降则在一定气体介质下与弧柱长度成正比。显然，弧长不同，电弧电压也不同。

2. 焊接电弧的分类

焊接电弧的性质与供电电源的种类、电弧的状态、电弧周围的介质以及电极材料有关。按照不同的方法作如下分类：

- (1) 按电弧的状态：自由电弧和压缩电弧。
- (2) 按电流种类：交流电弧、直流电弧和脉冲电弧。
- (3) 按电极材料：熔化极电弧和不熔化极电弧。

我们常见的手工电弧焊、 CO_2 气体保护焊、埋弧焊等属于熔化极自由电弧，钨极氩弧焊属于不熔化极自由电弧。

3. 电弧的静特性

在电极材料、气体介质和弧长一定的情况下，电弧稳定燃烧时，焊接电流与电弧电压变化的关系称为电弧静态伏安特性，简称静特性。表示它们关系的曲线叫做电弧的静特性曲线，电弧的静特性曲线近似 U 形曲线，故也称 U 形曲线，如图 1-4 所示。

(1) U 形静特性曲线可看成由三段（I、II、III）组成。在 I 段，当电流较小时，电弧静特性为下降特性区，即随着电流的增加而电压降低；在 II 段，在正常工艺参数焊接时，电流通常从几十安培到几百安培，称为平特性区，即电流大小变化时电压几乎不变；在 III 段，当电流更大时，电弧静特性为上升特性区，电压随电流的增加而升高。

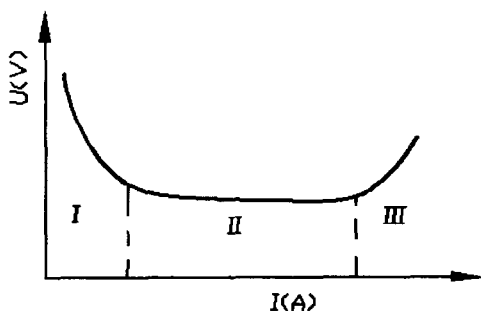


图 1-4 电弧的静特性曲线

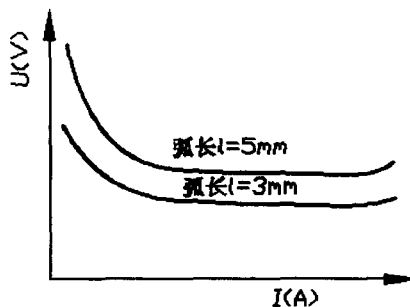


图 1-5 不同弧长的电弧的静特性曲线

(2) 在焊接过程中, 对于不同的焊接方法, 它们的电弧静特性曲线有所不同, 而且在正常使用范围内, 并不包括电弧的静特性曲线的所有部分, 其电弧静特性只是曲线中的某一区域。

①手工电弧焊 由于手弧焊设备的额定电流值不大于 500A, 所以其静特性曲线无上升特性区。

②埋弧自动焊 在正常电流密度下焊接时, 其静特性为平特性区; 采用大电流密度焊接时, 其静特性为上升特性区。

③钨极氩弧焊 一般在小电流区间焊接时, 其静特性为下降特性区; 在大电流区间焊接时, 其静特性为平特性区。

④细丝熔化极气体保护焊 (CO_2 焊) 由于受电极端面积所限, 电流密度很大, 所以其静特性曲线为上升特性区。

在一般情况下, 电弧电压总是和电弧长度成正比地变化, 当电弧长度增加时, 电弧电压升高, 其静特性曲线的位置也随之上升, 如图 1-5 所示。

4. 电弧的动特性

电弧的静特性是在电弧稳定的情况下得到的。但是, 在某些焊接过程中, 由于电弧负载状态发生突然变化时, 弧焊电源输出电压与电流也随之发生变化。而电流和电压高速变动的时候, 电弧就达不到稳定状态。这种在一定弧长下, 当电弧电流很快变化的时候, 电弧电压和电流瞬时值之间的关系, 称为电弧的动特性。

习 题

1. 焊接电弧的物理本质是什么?
2. 简述焊接电弧的构造。
3. 什么是电弧的静特性? 如何理解电弧的静特性曲线?
4. 什么是电弧的动特性?

项目二 弧焊电源

为焊接电弧供电的系统称为弧焊电源。供电系统中所有电器元件包括变压器、整流器或发电机等都为弧焊电源的组成部分。

一、弧焊电源的静特性

在电弧稳定燃烧状态下,弧焊电源输出电压与输出电流之间的关系,称为弧焊电源的静特性,也称弧焊电源的外特性。用来表示这一关系的曲线称为弧焊电源的外特性曲线,如图 1-6 所示。弧焊电源的外特性基本上分为平特性、下降外特性两种类型。平特性又称为恒压特性,如图 1-7 所示。下降外特性又分为缓降特性、陡降特性和垂降特性,垂降特性又称为恒流。

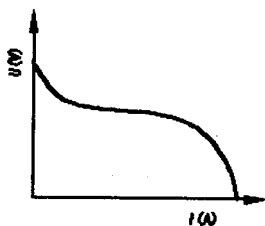
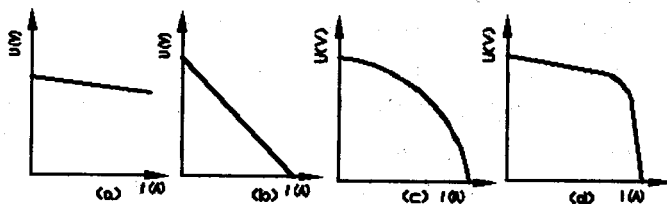


图 1-6 电源的外特性曲线



(a) 平特性 (b) 缓降特性 (c) 陡降特性 (d) 垂降特性

图 1-7 电源的外特性形状

二、对弧焊电源的基本要求

1. 对弧焊电源静特性工作区段形状的要求

弧焊电源静特性工作区段是指静特性上稳定工作点附近的取段。

(1) 手工电弧焊: 如果将焊接电弧的静特性曲线与弧焊电源下降外特性曲线按同一比例绘制在直角坐标系上,如图 1-8 所示,可得到两个交点 A 与 B。在这两个交点上,它们各自对应的输出电压、电弧电压以及输出电流、焊接电流都相等,即电源供给电压和电流与电弧形成的电压和电流相等,确定了系统的静态稳定状态。然而,在实际焊接过程中,由于外界因素(如操作不稳定、工件表面不平、电网电压波动等)都会破坏这种静态平衡。当这种现象出现后,系统还能达到新的平衡吗?下面就这个问题进行分析。

设电弧在 A 点燃烧,当焊接电路中受到外界因素的干扰,使焊接电流突然降至 I_1 ,这时电源输出的电压 U_{01} 就要小于电弧所要求的电压 U_1 ,这样电路就失去平衡,电流会进一步减小,直至电弧熄灭;如果焊接电流突然增大至 I_2 ,对应的电源输出电压 U_{02} 大于电弧所要求的电压 U_2 ,将使焊接电流进一步增大,直至 B 点。由此可见,在 A 点电弧不能稳定燃烧。